



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

FRANCISCO ADÊNIO TEIXEIRA ALVES

ACÚMULO E EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO NA MANDIOCA IRRIGADA
NO SEMIÁRIDO

MOSSORÓ

2021

FRANCISCO ADÊNIO TEIXEIRA ALVES

**ACÚMULO E EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO NA MANDIOCA IRRIGADA
NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Orientador:
Prof. D. Sc. Aurélio Paes Barros Júnior.

Co-orientador:
Prof^a. D. Sc. Lindomar Maria da Silveira.

MOSSORÓ

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

A474a Alves, Francisco Adênio Teixeira.
Acúmulo e eficiência do uso do fósforo
em cultivares de mandioca irrigadas no
semiárido / Francisco Adênio Teixeira
Alves. - 2021.
39 f. : il.

Orientador: Aurélio Paes Barros Júnior.
Coorientadora: Lindomar Maria da
Silveira. Dissertação (Mestrado) -
Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-
graduação em Fitotecnia, 2021.

1. Manihot esculenta. 2. Nutrição de
plantas.
3. Adubação fosfatada. 4. Variabilidade
genética.
I. Barros Júnior, Aurélio Paes, orient.
II. Silveira, Lindomar Maria da, co-
orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva, CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCISCO ADÊNIO TEIXEIRA ALVES

**ACÚMULO E EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO NA MANDIOCA IRRIGADA
NO SEMIÁRIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia

Linha de Pesquisa: Práticas Culturais

Defendida em: 28 / 05 / 2021.

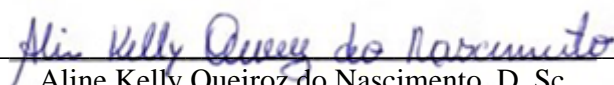
BANCA EXAMINADORA




Aurélio Paes Barros Júnior, Prof. D. Sc. (UFERSA)
Presidente



Welder de Araújo Rangel Lopes, D. Sc. (UFERSA)
Membro Examinador



Aline Kelly Queiroz do Nascimento, D. Sc.
Membro Examinador



Ênio Gomes Flôr Souza, Prof. D. Sc. (IFAL)
Membro Examinador

Tereza Teixeira Aguiar (Bisavó).
(In Memoriam).

*Francisco Alves de Sousa (Pai), Maria Ilza Teixeira de Castro (Mãe), Maria Tailane Teixeira
Alves (Irmã) e Maria Daiane Teixeira Alves (Irmã).*
(Presentes)

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a Deus, pela minha saúde e força de vontade, possibilitando, assim, que eu concluísse o mestrado.

Agradeço a minha família pelo apoio, carinho e incentivo. Eles foram indispensáveis para que eu alcançasse mais esse objetivo em minha vida. Obrigado Francisco Alves de Sousa (Pai), Maria Ilza Teixeira de Castro (Mãe), Maria Tailane Teixeira Alves (Irmã) e Maria Daiane Teixeira Alves (Irmã). Agradeço também a Carla Jamile Xavier Cordeiro, que foi fundamental em todos os aspectos para a realização desse trabalho.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar um mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo incentivo à pesquisa e pela concessão de bolsas de pesquisa científica.

Ao meu orientador, Prof. D. Sc. Aurélio Paes Barros Júnior, a minha coorientadora, Prof^a. D. Sc. Lindomar Maria da Silveira, e ao Prof. D. Sc. Francisco de Assis de Oliveira, por todos os conhecimentos repassados.

Agradeço à Banca Examinadora, pelas contribuições e por ajudarem na consolidação de mais um sonho em minha vida.

Ao D. Sc. Flávio Pereira da Mota Silveira e D. Sc. Welder de Araújo Rangel Lopes, pelo desenvolvimento do projeto e auxílio em todas as etapas do mesmo.

Aos funcionários da horta e da Fazenda Experimental Rafael Fernandes, pela ajuda na montagem e condução dos experimentos.

Aos integrantes do Grupo de Estudos e Pesquisa em Produção Agrícola e Recursos Genéticos Vegetais (GEPPARG): Alex Monteiro, Pedro Ramon, Welder de Araújo, Manoel Galdino, Gisele Santos, Silvana Fraga, José Artur, Michele Barboza, Valécia Nogueira, Flávio Pereira, Fernanda Larisse, José Ricardo, Hamurábi Anízio, Anna Kézia e Ester dos Santos, pelo comprometimento com o desenvolvimento desse estudo, pela união e amizade.

À cada pessoa que contribuiu de alguma maneira para o desenvolvimento dessa pesquisa e que auxiliou na conclusão dessa dissertação.

GRATIDÃO!

“A grandeza vem não quando as coisas sempre vão bem para você, mas a grandeza vem quando você é realmente testado, quando você sofre alguns golpes, algumas decepções, quando a tristeza chega. Porque apenas se você esteve nos mais profundos vales você poderá um dia saber o quão magnífico é se estar no topo da mais alta montanha.”

Richard Milhous Nixon

RESUMO

O fósforo (P) é um elemento com baixos teores e baixa mobilidade em solos de regiões tropicais. Na mandioca, é o quarto nutriente mais exigido e atua como promotor do crescimento e desenvolvimento da planta. Devido à importância do cultivo da mandioca em condições semiáridas e à deficiência de P nos solos da região, objetivou-se avaliar o acúmulo e a eficiência do uso do P em diferentes cultivares de mandioca. Os experimentos foram conduzidos em duas safras agrícolas, 2018/19 e 2019/20, na Fazenda Experimental Rafael Fernandes, município de Mossoró-RN. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram aplicadas em fundação as cinco doses de P, utilizando como fonte o superfosfato simples (0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅), e, nas subparcelas, foram dispostas as quatro cultivares de mandioca (Água Morna, BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio). O genótipo influencia o acúmulo de fósforo (P) por plantas de mandioca. As folhas foram os órgãos com menores acúmulos de fósforo na cultura da mandioca. As cultivares Água Morna e Recife apresentaram maiores concentrações de P nas raízes. Para todas as cultivares, doses maiores que 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ não proporcionaram incrementos no acúmulo de P em raízes, folhas e na planta inteira. Doses entre 60 e 180 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionaram os maiores acúmulos de P na planta, nas duas safras, com variação de 2,373 a 4,326 g planta⁻¹, equivalentes a 39,55 e 72,10 kg ha⁻¹ de P ou 90,62 e 165,21 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. As cultivares Venâncio e Água Morna obtiveram resultados superiores de eficiência agrônômica quando adubadas com 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A eficiência de recuperação aparente de P apresentou a seguinte ordem: BRS Gema de Ovo > Água Morna > Venâncio > Recife, com maiores índices na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Palavras-chave: *Manihot esculenta*. Nutrição de plantas. Adubação fosfatada. Variabilidade genética.

ABSTRACT

Phosphorus (P) is an element with low contents and low mobility in soils from tropical regions. In cassava, it is the fourth most needed nutrient and acts as a promoter of plant growth and development. Obligation to the importance of cassava cultivation in semiarid conditions and P deficiency in the region's soils, this study aimed to evaluate the accumulation and efficiency of P use in different cassava cultivars. The experiments were carried out in two agricultural seasons, 2018/19 and 2019/20, at the Experimental Farm Rafael Fernandes, municipality of Mossoró-RN. The experimental design was in randomized blocks, in split plots, with four replications. In the plots, they were applied in foundation as five doses of P, using as source the simple superphosphate (0, 60, 120, 180 and 240 kg ha⁻¹ of P₂O₅), and, in the subplots, they were arranged as four cassava cultivars (Água Morna, BRS Gema de Ovo, Recife and Venâncio). The genotype influences the phosphorus (P) accumulation by cassava plants. The leaves were the organs with the smallest accumulation of phosphorus in the cassava crop. The cultivars Água Morna and Recife are larger according to the roots. For all cultivars, doses greater than 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅ did not provide increases in P accumulation in roots, leaves and in the whole plant. Doses between 60 and 180 kg ha⁻¹ of P₂O₅ provided the highest accumulation of P in the plant, in both crops, with a variation of 2,373 to 4,326 g plant⁻¹, equivalent to 39.55 and 72.10 kg ha⁻¹ of P or 90.62 and 165.21 kg ha⁻¹ of P₂O₅, respectively. The cultivars Venâncio and Água Morna obtained superior results of agronomic efficiency when fertilized with 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The apparent P recovery efficiency is in the following order: BRS Gema de Ovo > Água Morna > Venâncio > Recife, with higher rates at the dose of 60 kg ha⁻¹ of P₂O₅.

Keywords: *Manihot esculenta*. Plant nutrition. Phosphate fertilization. Genetic variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Valores médios de temperatura média do ar (A), umidade relativa do ar (B) e radiação solar (C), e precipitação pluviométrica acumulada (D) nas duas safras de mandioca de mesa (2018/19 e 2019/20)	19
Figura 2	–	Acúmulo de fósforo (P) em raiz de mandioca de mesa, em resposta à doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas 2018/19 (A) e 2019/20 (B) na cidade de Mossoró-RN, Semiárido.	24
Figura 3	–	Acúmulo de fósforo (P) em caule de mandioca de mesa, em resposta à doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas 2018/19 (A) e 2019/20 (B) na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.	26
Figura 4	–	Acúmulo de fósforo (P) em folha de mandioca de mesa, em resposta à doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas 2018/19 (A) e 2019/20 (B) na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.	27
Figura 5	–	Acúmulo de fósforo (P) em planta de mandioca de mesa, em resposta à doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas 2018/19 (A) e 2019/20 (B) na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.	28
Figura 6		Eficiência agronômica de plantas de mandioca adubadas com doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas 2018/19 (A) e 2019/20 (B) na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.....	29
Figura 7		Eficiência aparente de recuperação de plantas de mandioca adubadas com doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas 2018/19 (A) e 2019/20 (B) na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Caracterização química e física do solo, nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, das áreas experimentais referentes às duas safras agrícolas (2018/19 e 2019/20)	20
----------	---	---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	15
2.1	IMPORTANCIA DA MANDIOCA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	15
2.2	EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO PELA MANDIOCA	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	ACÚMULO DE FÓSFORO	24
4.2	EFICIÊNCIAS AGRONÔMICA E APARENTE DE RECUPERAÇÃO	29
5	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A mandioca pertencente à família *Euphorbiaceae* e tem origem sul-americana. É uma espécie perene, de propagação vegetativa, que apresenta adaptação a diversas condições edafoclimáticas, sendo cultivada em todas as regiões do território nacional (SILVA et al., 2014). É cultivada como anual nas regiões tropicais e subtropicais, tendo como produto principal suas raízes tuberosas, ricas em amido, principal fonte de carboidratos para mais de 700 milhões de pessoas em todo o mundo, além de estar entre as sete culturas agrícolas mais cultivadas no mundo (FAOSTAT, 2018).

No Brasil, a mandioca é cultivada em todas as regiões, entre pequenos e grandes produtores, com grande oscilação na produtividade (IBGE, 2017). No Nordeste brasileiro, 80% da produção de mandioca é realizada em propriedades com até dez hectares, totalizando 67% da produção regional (IBGE, 2017). Dessa forma, a cultura desempenha um importante papel social, econômico e cultural na região, principalmente para aqueles que residem nas áreas rurais.

A mandioca apresenta tolerância à seca e não é exigente a solos férteis, condições normalmente observadas na região Nordeste. Sua capacidade de tolerar situações estressantes, podem ser explicadas, em parte, por mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, como controle do fechamento dos estômatos, elevado potencial fotossintético e amplo sistema radicular (EL-SHARKAWY, 2012).

A sua rusticidade e capacidade de produção em condições adversas permitem que a cultura da mandioca desperte interesse agrário em todos os Estados do Brasil (AFONSO et al., 2014; FUHRMANN et al., 2016). Porém, a produção nacional estacionou em torno de 25 milhões de toneladas anuais nos últimos 30 anos (SOUZA, 2017), resultado de longos períodos de seca e falta investimentos em pesquisas e extensão rural.

A mandioca é uma cultura que absorve grande quantidade de nutrientes e praticamente exporta tudo o que foi absorvido (MATTOS, 2003). Embora não seja considerada uma cultura exigente em solos férteis, é necessário atender as necessidades da planta por meio da utilização de adubos em quantidades adequadas dos pontos de vista agrônomo e econômico (NGUYEN et al., 2002). Ressalta-se ainda que a absorção e a distribuição dos nutrientes são altamente relacionadas com a taxa de crescimento das plantas, as quais também variam em função das condições edafoclimáticas e características varietais da mandioca (HILLOCKS; THRESH; BELLOTTI, 2002).

Dentre os nutrientes mais importantes para o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento da mandioca, está o fósforo (P), sendo ele o quarto nutriente mais exigido pela cultura (HOWELER, 1981). Apesar de ser considerada uma cultura rústica, a mandioca é uma planta responsiva à adubação fosfatada (LIMA et al., 2018), sendo fundamental na formação do sistema radicular (OSUNDARE, 2014), promovendo aumentos no índice de área foliar, na produção de biomassa da parte aérea, nas taxas fotossintéticas líquidas e produtividade de raízes (OMONDIA et al., 2019).

Solos tropicais tem baixos teores de (NOVAIS; SMYTH, 1999; PRADO; VALE; ROMUALDO, 2005) e baixa mobilidade de P (COSTA et al., 2009). Quando o P é fornecido à mandioca, ela apresenta respostas positivas, as quais variam, principalmente, de acordo com o genótipo e a disponibilidade do nutriente no solo (FIDALSKI, 1999; BURGOS; CENÓZ, 2012; SILVA, et al., 2013; LIMA, et al., 2018).

Apesar disso, estudos avaliando o comportamento da mandioca em função da aplicação de P ainda são escassos, principalmente no que diz respeito a parte de acúmulo e eficiência de uso desse nutriente. Dessa forma, objetivou-se avaliar o acúmulo e a eficiência do uso do P em cultivares de mandioca cultivadas em condições semiáridas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 IMPORTÂNCIA DA MANDIOCA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A mandioca pertencente à família *Euphorbiaceae* e tem origem sul-americana. É uma espécie perene, de propagação vegetativa, que apresenta adaptação a diversas condições edafoclimáticas, sendo cultivada em todas as regiões do território nacional (SILVA et al., 2014).

Agricultores de todas as classes sociais plantam, consomem e comercializam mandioca, a qual, no entanto, é produzida em grande parte por pequenos agricultores que dispõem de poucos insumos, ausência de serviços mecanizados e carência de assistência técnica (OTSUBO; BITENCOURT; PEZARICO, 2002; ITAM; AJAH; UDOEYOP, 2018). Isso ocorre principalmente por ela ser uma cultura que tem tolerâncias à seca, a altas temperaturas e ao cultivo em solos de baixa fertilidade (HOWELER, 2002).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de mandioca e a raiz está entre as cinco *commodities* agrícolas com maior volume de produção no país (18.501.645 toneladas), atrás apenas da cana-de-açúcar, soja, milho e do leite de vaca (FAOSTAT, 2017). A produção brasileira concentra-se principalmente nos estados do Norte (34,6%) e Nordeste (24,4%), sendo importante componente na base alimentar dessas regiões. O Sul, com 24% da produção nacional, é um importante produtor de fécula, cujo total produzido representa 70% da produção brasileira. A região Sudeste, produzindo 10,9%, destina a produção para mandioca de mesa, farinha e polvilho azedo. Já a região Centro-Oeste, produz apenas 6,1% do total (SOUSA et al., 2017).

No Nordeste brasileiro, particularmente na região Semiárida, a mandioca é, frequentemente, considerada como uma reserva alimentar. Consideráveis avanços foram feitos pela pesquisa no sentido de se identificar novos potenciais dessa cultura, capazes de contribuir na melhoria do status nutricional das populações, onde a mandioca se constitui um dos principais cultivos (FUKUDA, 2006).

No cenário mundial essa cultura apresenta uma boa aceitação, devido a suas raízes serem ricas em amido, que é fonte calórica muito importante (COCKCROFT, 2004). Nas indústrias, também possui sua importância, pois com o seu beneficiamento pode-se produzir etanol, ser utilizada em ração animal e também como fonte alternativa na geração de energia (MARQUES, 2000).

Apesar da grande importância socioeconômica da mandioca, as pesquisas realizadas ainda não foram suficientes para o aumento significativo de sua produtividade (CARDOSO

JÚNIOR et al., 2005). A produção nacional estacionou em uma média aproximada de 25 milhões de toneladas anuais nos últimos 30 anos (SOUZA, 2017). Dessa forma, são necessários mais estudos avaliando as características e o comportamento das cultivares as diversas condições de clima, solo e manejo, buscando sempre a escolha de cultivares mais adaptadas para cada região.

2.2. EFICIÊNCIA DO USO DO FÓSFORO PELA MANDIOCA

O P é um nutriente que causa grande resposta quando fornecido à cultura da mandioca (FIDALSKI, 1999; BURGOS; CENÓZ, 2012; SILVA et al., 2013; LIMA et al., 2018), sendo ele o quarto nutriente mais absorvido pela cultura (HOWELER, 1981, RODRIGUES et al., 2009). É fundamental na formação do sistema radicular (OSUNDARE, 2014), promove um aumento no índice de área foliar, na produção de biomassa da parte aérea, incremento das taxas fotossintéticas líquida e elevação do rendimento de raízes (OMONDIA et al., 2019).

Os solos tropicais apresentam, normalmente, baixa concentração de P disponível e alto potencial de fixação do nutriente aplicado via fertilizante (PRADO, 2008). Nessas regiões, é comum as plantas apresentarem sintomas de deficiência de P, não só devido ao baixo teor nos solos, como também à alta demanda pelas plantas na fase inicial de crescimento (NOVAIS; SMYTH, 1999; PRADO; VALE; ROMUALDO, 2005) e sua baixa mobilidade no solo (COSTA et al., 2009), em função desse elemento essencial ficar adsorvido às partículas de solo.

A média de adsorção de P nas regiões tropicais é muito alta, implicando que, em condições naturais, existe uma tendência à deficiência desse elemento (VILAR et al., 2019). A adsorção do fosfato no solo varia de acordo com o tamanho e a reatividade da superfície específica de adsorção dos coloides, capacidade de oclusão do coloide a que o fosfato será adsorvido, e concentração e espécie iônica que compete com o fosfato pelo sítio de adsorção (UEHARA; GILLMAN, 1981).

A absorção do P pelas plantas é predominantemente na forma H_2PO_4^- . Isso se deve ao fato de no solo haver predominância do P nessa forma iônica. Entretanto, no geral, o P pode ser absorvido de duas formas na solução do solo, na forma de H_2PO_4^- ou HPO_4^{2-} (PRADO, 2008). Quando uma planta se encontra numa situação de baixa disponibilidade de P, ela tende a utilizá-lo de forma mais eficiente, contrariamente ao que se observa quando a planta é submetida a uma condição de elevada disponibilidade desse nutriente (BALIEIRO; OLIVEIRA; DIAS, 2001).

Para que o P seja absorvido, precisa estar disponível no solo. Essa disponibilidade pode ser influenciada por diversos fatores, como: o tipo e quantidade de minerais de argila, níveis de P no solo, aeração, umidade, temperatura, disponibilidade de outros nutrientes e, principalmente, o pH do solo (PRADO, 2008).

A quantidade de P absorvido pela planta ou removido na colheita de raízes é altamente dependente da extensão do sistema radicular, concentração de P na superfície da raiz, capacidade das raízes em absorver P (ANGHINONI, 1979), clima, solo, variedade e população micorrízica (HOWELER, 2002; HILLOCKS; THRESH; BELLOTTI, 2002). Além disso, é ideal fazer uma aplicação localizada, pelo fato desse nutriente estar entre os de menor mobilidade no solo (BARBER, 1995), e ser absorvido principalmente por meio de difusão.

Dessa forma, a capacidade de acesso ao P do solo pela planta irá depender de características de ambos (planta e solo) e estas das condições ambientais. Uma vez que a planta absorve o P da solução do solo, esta torna-se altamente dependente da capacidade do solo em repor o P da solução numa velocidade que permita a manutenção da concentração na região de absorção acima da mínima requerida pela planta (BARBER, 1995; COREY, 1987). Assim, torna-se necessário avaliar cada situação do ponto de vista do solo, da planta cultivada e das condições climáticas da região, afim de escolher os melhores materiais para cada região.

A mandioca é considerada uma cultura capaz de se desenvolver e produzir relativamente bem em solos de baixa fertilidade (CARVALHO et al, 2007), no entanto, é uma cultura que responde bem à aplicação de nutrientes via adubação (HOWELER, 2002; ALVES; MODESTO JÚNIOR; FERREIRA, 2012; LIMA, 2018). Nesse sentido, é necessário o manejo eficiente da adubação, para garantir um crescimento e desenvolvimento adequado da cultura, e, ao mesmo tempo, maximizar os lucros e reduzir os custos.

No Brasil, um dos elementos mais estudados quando se fala em eficiência do uso de nutrientes pelas plantas é o P, devido esse macronutriente ser exigido em grandes quantidades para proporcionar um desenvolvimento adequado das culturas e também pela complexidade do comportamento desse nutriente no solo.

A eficiência nutricional de um determinado nutriente diz respeito à relação entre a quantidade aplicada do nutriente e o que foi produzido pela planta. Ou seja, um sistema agrícola para ser considerado eficiente necessita ter alta capacidade de conversão do fertilizante adicionado em produção, onde a máxima eficiência é obtida quando quantidade de nutriente que é adicionada ao solo é retirada na forma de produção (NUNES, 2014). Essa eficiência é controlada diretamente ou indiretamente por fatores vegetais relacionados ao metabolismo básico (GERLOFF, 1987), por padrões de particionamento e remobilização de

nutrientes entre diferentes órgãos e tecidos (CLARK, 1983) e talvez, principalmente, pela capacidade da planta para acumular matéria seca (CHAPIN, 1987).

Koide (1991) ressaltou a importância de padrões de alocação de P entre as espécies de plantas, onde o efeito de uma determinada quantidade do nutriente aplicada pode ter efeitos dramaticamente diferentes no crescimento ou reprodução e produtividade em diferentes espécies de plantas, o que também pode ser observado dentro de uma mesma espécie de planta. Nesse sentido, Gerloff (1987) também relatou que a adaptação genética ao baixo P pode ser alcançada com uma redução da alocação de nutrientes para estruturas de suporte como caules.

Apesar de diversas pesquisas demonstrarem que a eficiência de uso do P de fertilizantes fosfatados ser baixa, variando de 30% a 60% (LINDSAY, 1979; YAMADA; LOPES, 1998; SOUSA et al., 2010; CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2011). A adoção de adequadas técnicas de manejo do solo e adubação pode resultar em eficiência de uso muito acima dos valores frequentemente relatados (SYERS; JOHNSTON; CURTIN, 2008).

De qualquer forma, sempre que a eficiência de uso do P não for igual ou superior a 100%, há acúmulo do nutriente no solo. Isso é o que ocorre com as adubações fosfatadas corretivas total ou gradual (SOUSA et al., 2004). Alguns estudos têm demonstrado que a quantidade de P aplicado no solo deve ser maior do que a planta pode absorver, já que a disponibilidade frequentemente baixa e a alta capacidade de adsorção de P nos solos tropicais exigem maiores doses, visando compensar a capacidade de dreno do solo que é bem maior do que a da planta (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Dessa forma, o adequado estudo da eficiência de uso do P pelas plantas em função da aplicação de fertilizantes fosfatados envolve a avaliação do balanço entre entradas e saídas de P no sistema, da fonte e modo de aplicação do fertilizante, do sistema de manejo do solo (ANGHINONI, 2004) e do tipo de cultivar que está sendo trabalhada (SILVA et al., 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em duas safras agrícolas (junho de 2018 a abril de 2019 e de junho de 2019 a abril de 2020), na Fazenda Experimental Rafael Fernandes (5°03'31,00"S, 37°23'47,57"W e 80 m de altitude), localizada no distrito de Alagoinha, zona rural do município de Mossoró, Rio Grande do Norte, pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

Segundo a Classificação de Köppen, o clima do local é do tipo BSh (ALVARES et al., 2013), ou seja, seco e muito quente, tendo um período chuvoso entre os meses de fevereiro a maio, e um período seco que vai de junho a janeiro. Durante a realização da pesquisa foram coletadas as variáveis meteorológicas que podem ser observadas na Figura 1.

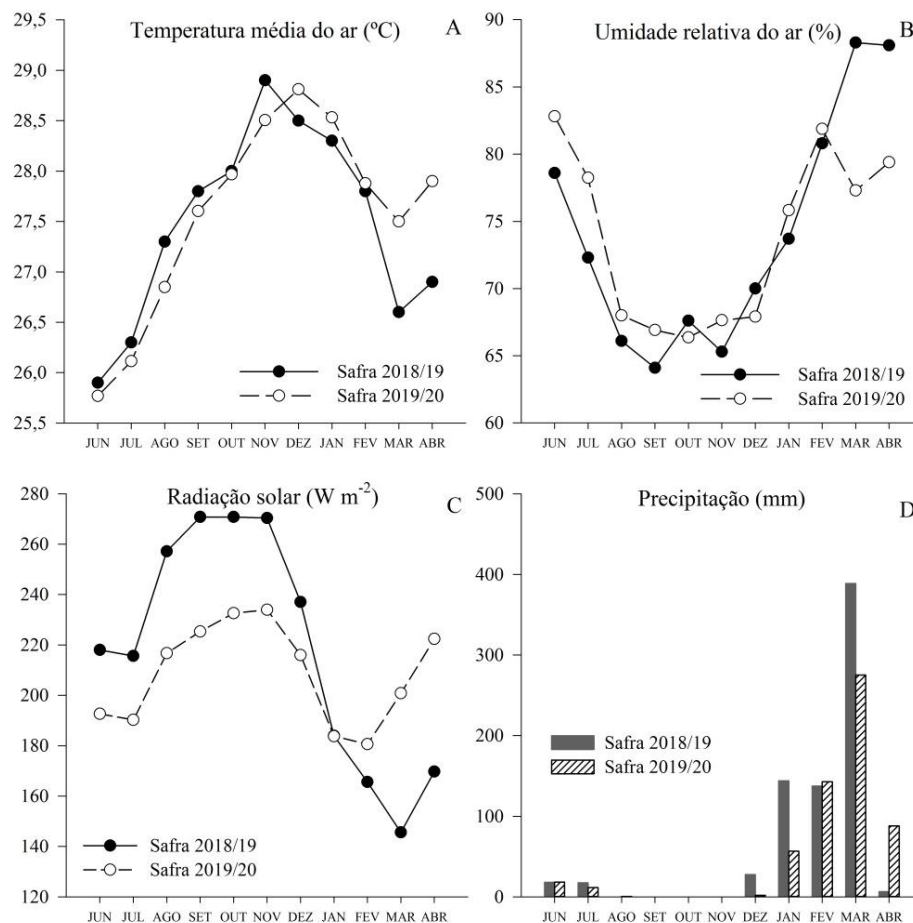


Figura 1. Valores médios de temperatura média do ar (A), umidade relativa do ar (B), radiação solar (C) e precipitação pluviométrica acumulada (D) nas duas safras de mandioca de mesa (2018/19 e 2019/20).

Os experimentos foram conduzidos em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, as doses de P foram aplicadas em fundação, sendo elas 0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, e, nas subparcelas, foram distribuídas as quatro cultivares (Água Morna, BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio).

As cultivares trabalhadas possuíam variação nas características da raiz, com coloração da polpa creme (Água Morna), amarela (BRS Gema de Ovo) e branca (Recife e Venâncio). Havia coloração do córtex da raiz rosado (Água Morna e Venâncio) e branco ou creme (BRS Gema de Ovo e Recife), além de cor externa da raiz marrom escuro para todas as cultivares. Registrou-se variação na ramificação da parte aérea, em que a cultivar Água Morna possuía menor ramificação, ao passo que as demais possuíam intensa ramificação.

O solo local foi classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (RÊGO et al., 2016). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m para caracterização química (SILVA, 2009) e física (DONAGEMA et al., 2011) das duas áreas trabalhadas (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo, nas profundidades de 0-0,20 m e 0,20-0,40 m, das áreas experimentais referentes às duas safras agrícolas (2018/19 e 2019/20).

Profundidade	pH	P*	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Areia	Silte	Argila
m		-----mg dm ⁻³ -----			--cmol _c dm ⁻³ --		-----kg kg ⁻¹ -----		
1ª Safra (2018/19)									
0-0,20	5,90	8,30	38,90	1,20	0,80	0,50	0,91	0,02	0,07
0,20-0,40	5,50	2,00	50,80	1,20	0,70	0,20	0,88	0,03	0,09
2ª Safra (2019/20)									
0-0,20	5,90	3,70	41,10	9,30	0,60	0,20	0,91	0,02	0,07
0,20-0,40	4,90	0,90	24,30	8,30	0,50	0,10	---	---	---

*Extrator: Mehlich-1.

Apesar dos experimentos terem sido conduzidos em duas safras agrícolas e em sequência, foram realizados em áreas diferentes, em que a primeira área (safra 2018/19) apresentou maiores teores de P, cálcio e magnésio, enquanto a segunda área (safra 2019/20) apresentava elevadas concentrações de sódio (Tabela 1).

Antes da instalação dos experimentos foi realizado o preparo do solo com gradagem pesada para incorporação do material vegetal remanescente na área, além de uma gradagem niveladora para homogeneizar a superfície do solo. Em seguida, a área foi marcada, de modo a cada unidade experimental ficar constituída por quatro linhas de 6,0 m de comprimento, espaçadas a 1,0 m entre si, totalizando uma área de 24,0 m² (6,0 m x 4,0 m). Foi considerada

área útil da unidade experimental as duas linhas centrais, descartando-se uma planta em cada extremidade, totalizando 9,6 m².

A adubação foi realizada seguindo as recomendações de Silva e Gomes (2008) com base nas análises de solo. Como fontes de nitrogênio (N), P e potássio (K) foram empregados ureia (45% N), superfosfato simples (18% P₂O₅) e cloreto de potássio (60% K₂O), respectivamente. Para cada safra, foram aplicados 30 kg ha⁻¹ de N e 40 kg ha⁻¹ K₂O, enquanto o P foi aplicado de acordo com os tratamentos estabelecidos. O P foi aplicado manualmente em fundação, já o N e K foram aplicados via sistema de irrigação por meio de um tanque de derivação (“pulmão”), sendo metade da dose recomendada de N fornecida aos 30 dias após a emergência (DAE) das plantas, juntamente com a dose total de K. Aos 60 DAE, foi aplicada a segunda metade da adubação nitrogenada.

As manivas foram obtidas na área de multiplicação de mandioca da Fazenda Experimental Rafael Fernandes e apresentavam dez meses de idade. O plantio foi feito de forma manual, colocando em cada cova uma maniva de 0,10-0,15 m de comprimento e contendo de 5-7 gemas, a uma profundidade de 0,10 m, no espaçamento de 1,0 m entre fileiras por 0,6 m entre covas, ficando assim, com densidade populacional de aproximadamente 16.667 plantas ha⁻¹.

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi o de gotejamento, com emissores espaçados em 0,30 m e vazão de 1,6 L h⁻¹, aplicando-se lâmina média diária de 4,8 mm. A irrigação foi calculada utilizando-se coeficiente de cultura (Kc) de acordo com a fase fenológica. Sendo que oito meses após o plantio a irrigação foi suspensa.

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capinas manuais e devido a ocorrência do ataque de ácaros foi realizada a aplicação do produto comercial com ingrediente ativo Espiromesifeno.

Para análise em laboratório, foram coletadas duas plantas inteiras de cada subparcela, sendo estas separadas em folha, caule e raiz, e pesadas. Em seguida, realizou-se a tríplice lavagem com água destilada, aguardando posteriormente a saída do excesso de água do material, e o qual foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C até estabilização do peso. Posteriormente, foram obtidas as matérias secas (g planta⁻¹) das folhas, caule e raízes comerciais.

Para a quantificação do P no material vegetal, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey (peneira de 2 mm) e acondicionadas em recipientes fechados. Foram pesadas alíquotas de 0,4 g do material devidamente moído, em seguida procedeu-se a extração com peróxido de hidrogênio (2 mL), ácido sulfúrico concentrado (4 mL) e mistura catalítica (0,7 g) composta de

sulfato de sódio, sulfato de cobre e selênio (metálico), em blocos digestores regulados a uma temperatura de 350 °C por quatro horas.

Empregou-se o método do complexo fosfo-molíbídico em meio redutor, adaptado por Braga e Defelipo (1974), com leituras realizadas em espectrofotômetro no Laboratório de Nutrição de Plantas, UFERSA, para a obtenção dos teores de P (g kg^{-1}). A partir dos teores de P e da quantificação da matéria seca das folhas, caules e raízes, foi feita a relação de acúmulo de P para cada órgão da planta (g planta^{-1}).

Os valores de eficiência agrônômica (EA) e eficiência aparente de recuperação (EAR) foram calculados pelas metodologias sugeridas por Maranville, Clark e Ross (1980), Siddiqi e Glass (1981), Craswell e Godwin (1984), e Fageria (1992):

$$EA = \frac{(PR_{cf} - PR_{sf})}{QPa} \text{ kg.kg}^{-1}$$

Em que, EA: eficiência agrônômica; PR_{cf} : produtividade de raízes com o fertilizante fosfatado (kg ha^{-1}); PR_{sf} : produtividade de raízes sem o fertilizante fosfatado (kg ha^{-1}) e QPa : quantidade do P aplicado (kg ha^{-1}).

$$EAR = \frac{(AP_{cf} - AP_{sf})}{QPa} \text{ kg.kg}^{-1}$$

Onde, EAR: eficiência aparente de recuperação; AP_{cf} : acúmulo de P na parte aérea e raízes com fertilizante P (kg); AP_{sf} : acúmulo de P na parte aérea e raízes sem fertilizante P (kg) e QPa : quantidade do P aplicado (kg).

A análise estatística para as duas safras foi iniciada utilizando-se o programa SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2014), cujos resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($P < 0,05$). Em seguida, foi realizada a análise conjunta dos dados para as características com homogeneidade de variâncias entre as safras (PIMENTEL-GOMES, 2009). Para as doses de P, foram feitas análises de regressão utilizando o software Table Curve 2D v5.01 (JANDEL SCIENTIFIC, 1991), sendo as equações escolhidas com base no coeficiente de determinação e na sua significância. Os gráficos foram construídos no programa SigmaPlot, versão 12.0 (SYSTAT SOFTWARE, 2011). As médias referentes às

cultivares de mandioca foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa SISVAR 5.6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ACÚMULO DE FÓSFORO

Nas duas safras foi observado respostas distintas para acúmulo de P nas raízes das cultivares em resposta às doses de P aplicadas (Figura 2). No primeiro cultivo, a cultivar Venâncio apresentou menor acúmulo máximo de P, com $0,783 \text{ g planta}^{-1}$ ($13,05 \text{ kg ha}^{-1}$ de P), na dose de $135,36 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Figura 2A). Mesmo nas doses mais elevadas, o acúmulo dessa cultivar foi baixo, fato justificável devido ao seu menor desenvolvimento radicular em comparação aos demais, já que o P é absorvido por difusão e conseqüentemente plantas que tem maior superfície radicular possuem maior capacidade de absorção do nutriente do solo (TEO et al., 1995; ROSOLEM et al., 1999).

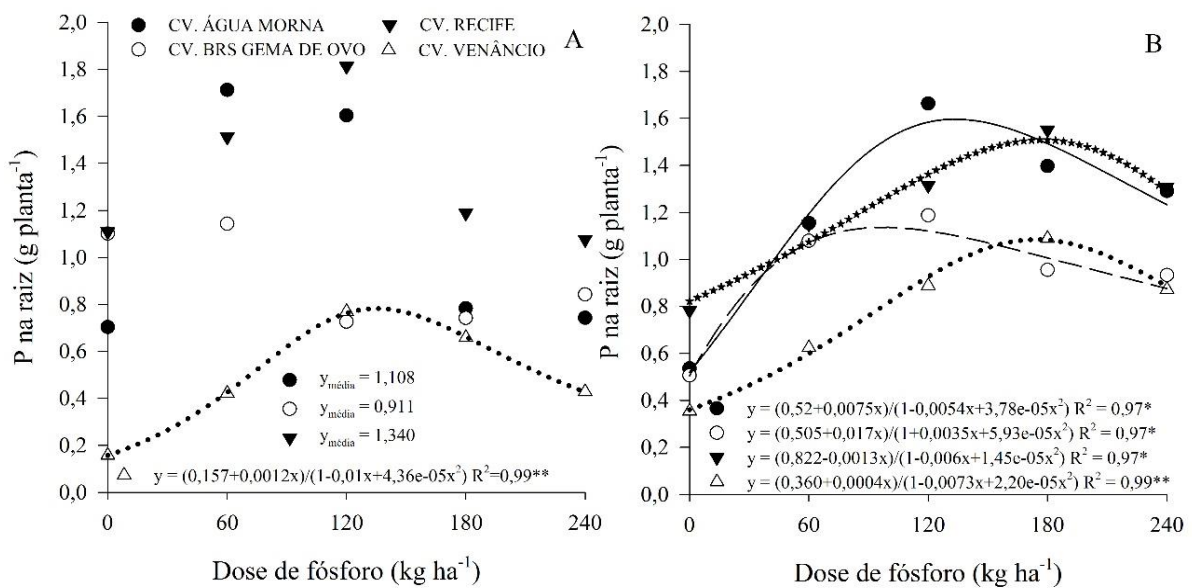


Figura 2. Acúmulo de fósforo (P) em raízes de cultivares de mandioca em resposta a doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas, 2018/19 (A) e 2019/20 (B), na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.

Por outro lado, para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo e Recife, os dados obtidos não se ajustaram aos modelos propostos, obtendo-se acúmulos médios de 1,108; 0,911 e 1,340 g planta^{-1} , respectivamente (Figura 2A). Porém, considerando os valores médios observados para cada dose de P_2O_5 , os maiores acúmulos nessas cultivares foram de 1,712; 1,143 e 1,812 g planta^{-1} (28,53; 19,05 e 30,20 kg ha^{-1} de P) nas doses de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Água Morna), 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (BRS Gema de Ovo) e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Recife), respectivamente. Para Pellet e El-Sharkawy (1993), as diferenças de absorção entre cultivares

de mandioca podem ser justificadas por cada uma apresentar um mecanismo especial de captação de P.

No segundo ano de cultivo (Figura 2B), foi possível ajustar modelo de regressão para todas as cultivares, com acúmulos máximos estimados em 1,599; 1,159; 1,528 e 1,074 g planta⁻¹ (26,65; 19,32; 25,47 e 17,90 kg ha⁻¹ de P), nas doses 133,64; 97,57; 178,64 e 173,69 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio, respectivamente.

Desta forma, observa-se que houve grande diferença na resposta das culturas à adubação fosfatada entre as duas safras agrícolas (Figura 2). Essa diferença pode ter ocorrido devido ao solo da área experimental da safra 2019/20 possuir, previamente à fertilização, praticamente metade do teor de P no solo da primeira safra 2018/19 (Tabela 1). Ou seja, foram necessárias doses maiores P₂O₅ na segunda safra para as plantas responderem com acúmulos de P nas raízes semelhantes à 1ª safra. Segundo Sieverding e Howeler (1985), o elevado teor de P pode alterar a composição e a eficiência das espécies de fungos micorrízicos e, conseqüentemente, influenciar na absorção do P.

Quanto ao acúmulo de P no caule, na safra 2018/19 não houve ajuste do modelo de regressão para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo e Recife, as quais obtiveram acúmulos médios de 0,620; 1,292 e 1,154 g planta⁻¹ (Figura 3A). Entretanto, levando-se em consideração os valores observados, as cultivares Água Morna (0,885 g planta⁻¹) e BRS Gema de Ovo (2,686 g planta⁻¹) apresentaram maiores acúmulos de P na dose 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e a Recife (1,959 g planta⁻¹) na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A cultivar Venâncio apresentou resposta quadrática, tendo acúmulo máximo de 1,726 g planta⁻¹ (28,77 kg ha⁻¹ de P) na dose de 119,51 kg ha⁻¹ de P₂O₅, decrescendo, em seguida, até a maior dose.

O baixo acúmulo de P no caule da cultivar Água Morna (Figura 3A) deve-se às suas características genéticas, já que ela possui um menor desenvolvimento da parte aérea (menor número de ramificações no caule e maior altura da primeira ramificação), indicando que há maior direcionamento de fotoassimilados e acúmulo de nutrientes nas raízes. Esse resultado corrobora com Pellet e El-Sharkawy (1993), os quais afirmaram que o comportamento distinto dos genótipos de mandioca é em virtude da diferença nos padrões de partição de matéria seca, do equilíbrio entre a produção de parte aérea e o comportamento das raízes de armazenamento como drenos.

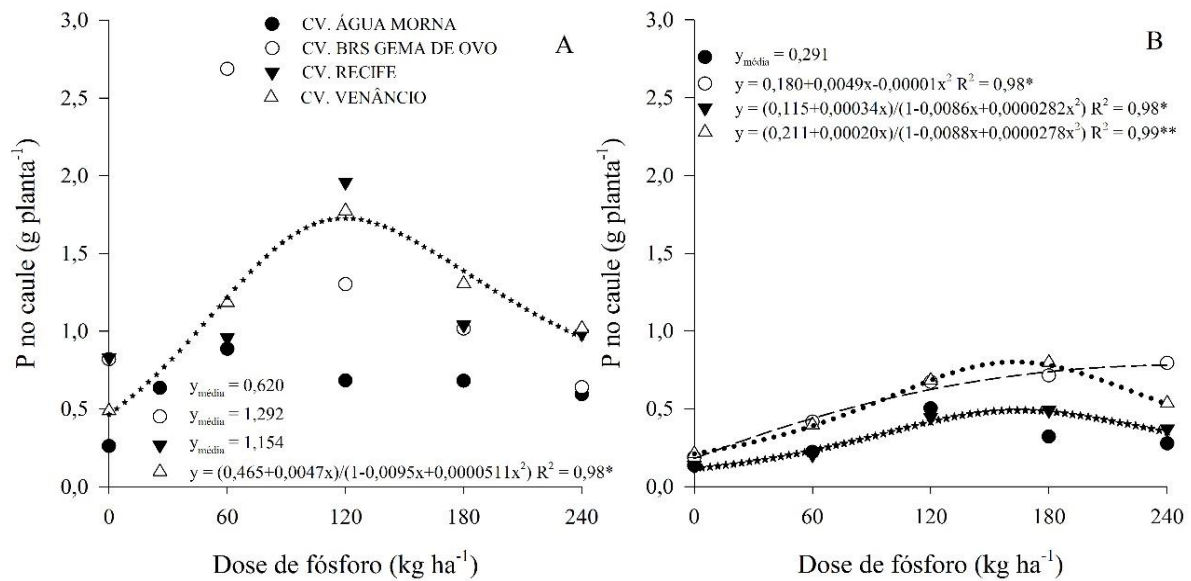


Figura 3. Acúmulo de fósforo (P) em caule de cultivares de mandioca em resposta a doses de P₂O₅ em duas safras agrícolas, 2018/19 (A) e 2019/20 (B), na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.

No segundo ano de cultivo (2019/20), não foi possível ajustar os dados obtidos aos modelos propostos para a cultivar Água Morna, obtendo-se acúmulo médio de 0,291 g planta⁻¹ (Figura 3B). Os dados das cultivares BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio foram ajustados aos modelos de regressão, com de 0,786; 0,509 e 0,814 g planta⁻¹ de P no caule (13,10; 8,40 e 13,57 kg ha⁻¹ de P) obtidos nas doses de 240, 165,64 e 163,09 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

De maneira geral, na safra 2019/20 o acúmulo de P no caule de todas as cultivares foi menor que na safra 2018/19 (Figura 3). Isso pode ter ocorrido devido à ocorrência de chuvas fortes no penúltimo mês antes da colheita (2019/20), o que favoreceu o desenvolvimento vegetativo especialmente de caule.

Analisando o acúmulo de P nas folhas, verificou-se que na primeira safra não houve ajuste para o modelo proposto para a cultivar Recife (Figura 4A), a qual obteve um acúmulo médio de 0,445 g planta⁻¹. Para as demais cultivares, houve ajuste dos dados aos modelos de regressão propostos, nos quais os maiores valores para cada cultivar ocorreram nas doses 240; 107,44 e 176,97 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com acúmulos de 0,442; 0,548 e 0,772 g planta⁻¹ (7,37; 9,13 e 12,87 kg ha⁻¹ de P), para as cultivares Água Morna, Gema de Ovo e Venâncio, respectivamente.

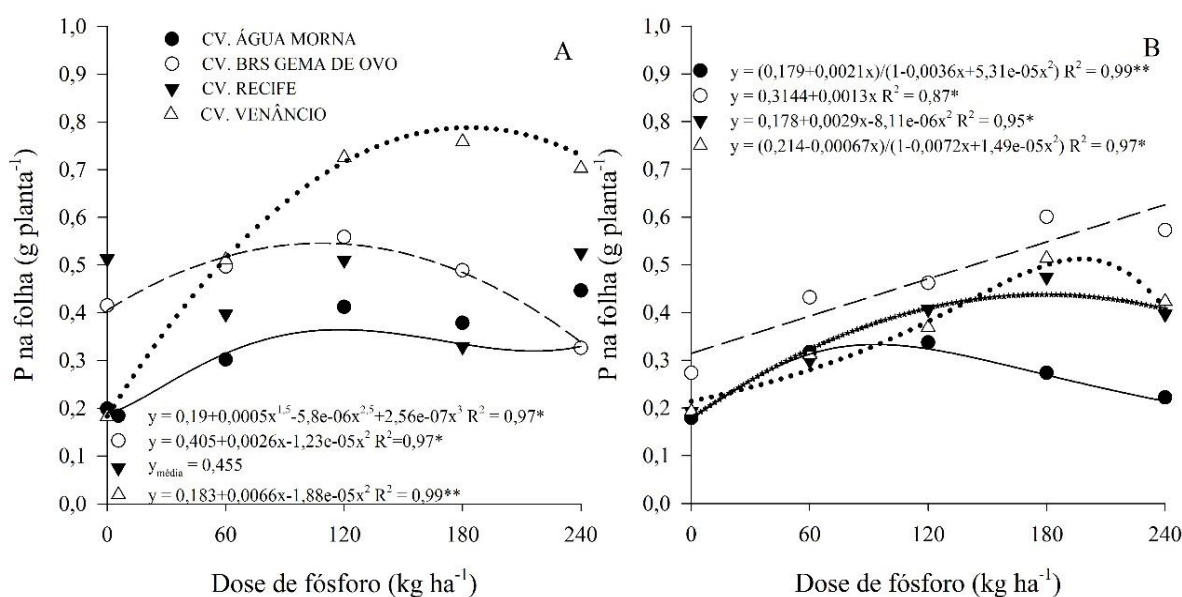


Figura 4. Acúmulo de fósforo (P) em folha de cultivares de mandioca em resposta a doses de P_2O_5 em duas safras agrícolas, 2018/19 (A) e 2019/20 (B), na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.

Na segunda safra, verificou-se que a cultivar BRS Gema de Ovo apresentou resposta linear crescente, de forma que apresentou o maior acúmulo de P nas folhas ($0,626 \text{ g planta}^{-1}$) na maior dose aplicada (Figura 4B). Para as demais cultivares, houve um aumento no acúmulo de P com o incremento das doses até determinados níveis, dependendo da cultivar, e reduziu para as maiores doses. Os maiores acúmulos ocorreram nas doses de $94,61 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Água Morna); $180,07 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Recife) e $199,29 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 (Venâncio), com acúmulos de $0,341$; $0,441$ e $0,526 \text{ g planta}^{-1}$ ($5,68$; $7,35$ e $8,77 \text{ kg ha}^{-1}$ de P), respectivamente.

Com relação ao acúmulo total de P nas plantas (raízes, caule e folhas), verificou-se que na primeira safra ocorreu comportamento semelhante ao acúmulo de P nas raízes (Figura 5A), em que só houve ajuste dos dados aos modelos propostos para a cultivar Venâncio (Figura 2A), na qual obteve resposta quadrática ao aumento nas doses de P_2O_5 sendo o maior valor ($3,194 \text{ g planta}^{-1}$) estimado para a dose de 155 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Para as demais cultivares, não houve ajuste de equação de regressão, obtendo-se acúmulos médios de $2,076 \text{ g planta}^{-1}$ (Água Morna); $2,660 \text{ g planta}^{-1}$ (BRS Gema de Ovo) e $2,949 \text{ g planta}^{-1}$ (Recife). Os maiores valores médios $2,899 \text{ g planta}^{-1}$ na dose de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Água Morna), $4,326 \text{ g planta}^{-1}$ na dose de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 (BRS Gema de Ovo) e $4,282 \text{ g planta}^{-1}$ na dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Recife).

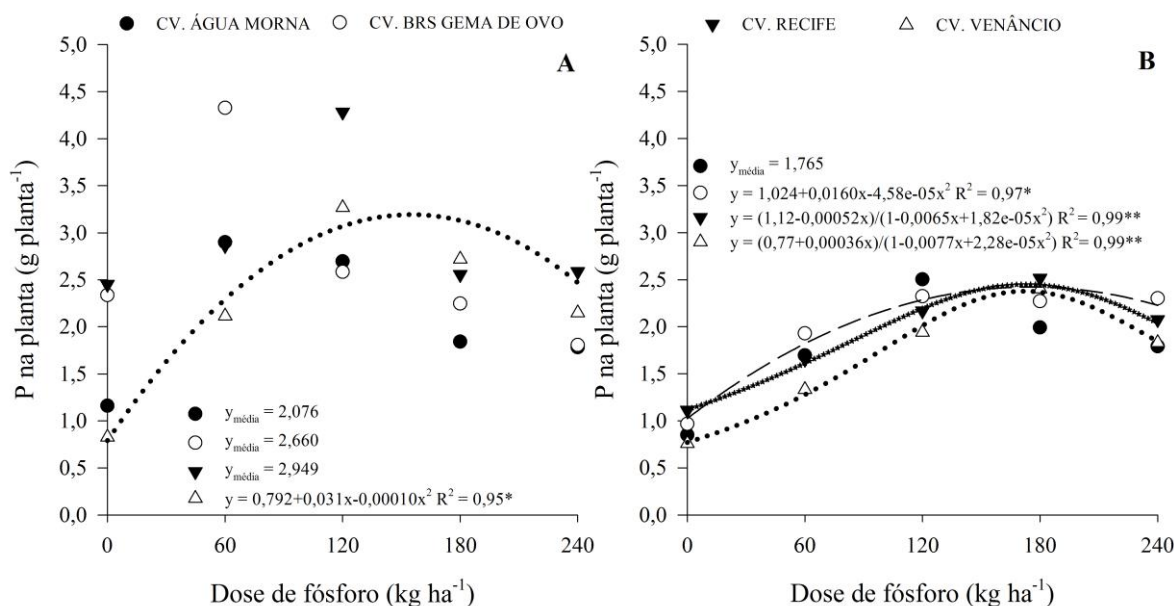


Figura 5. Acúmulo de fósforo (P) na planta de cultivares de mandioca em resposta a doses de P₂O₅ em duas safras agrícolas, 2018/19 (A) e 2019/20 (B), na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.

Na segunda safra (2019/20), houve ajuste do modelo de regressão para as cultivares BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio, com acúmulo máximo de P na planta de 2,424; 2,493 e 2,373 g planta⁻¹ (40,40; 41,55 e 39,55 kg ha⁻¹), nas doses estimadas de 174,76; 173,94 e 172 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Figura 5B). Para a cultivar Água Morna, os dados não se ajustaram à curva de regressão, obtendo-se um acúmulo médio de 1,765 g planta⁻¹. Considerando o acúmulo de P por hectare, esses valores equivalem a 29,42; 40,40; 41,55 e 39,55 kg ha⁻¹ para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio, respectivamente.

Howeler (1990) observou acúmulo de P na biomassa total de cultivares de mandioca entre 24 e 37 kg ha⁻¹, enquanto Pellet e El-Sharkawy (1993) observaram valores entre 10 e 36 kg ha⁻¹, portanto, ambos semelhantes aos observados nesse estudo.

Em ambas as safras, as plantas apresentaram um aumento no acúmulo de P, seguido de queda nos valores à medida que as doses de P₂O₅ aumentaram. Isso deve ter ocorrido pois o alto teor de P no solo afeta negativamente a simbiose com os fungos micorrízicos (NOGUEIRA; CARDOSO, 2006), e como esses fungos apresentam efeito benéfico na nutrição de plantas, principalmente na mandioca, a absorção do P foi prejudicada nas doses mais altas. Além disso, quando uma planta se encontra numa situação de baixa disponibilidade de P, ela tende a utilizá-lo de forma mais eficiente, contrariamente ao que se observa quando a planta é submetida a uma condição de elevada disponibilidade desse

nutriente (BALIEIRO; OLIVEIRA; DIAS, 2001), nesse sentido, em altas doses a planta tende a ser menos eficiente na absorção.

4.2 EFICIÊNCIA AGRONÔMICA E APARENTE DE RECUPERAÇÃO

A eficiência agronômica (EA) refere-se à capacidade da planta produzir raízes comerciais a mais, no caso da mandioca, para cada unidade de P aplicada, mensurando a capacidade e eficiência da planta em utilizar o P disponível no solo, ou seja, corresponde a produção econômica obtida por unidade de nutriente aplicado. Para essa característica, nas duas safras foi observado respostas distintas entre as cultivares de acordo com as doses de fósforo aplicadas (Figura 6A). Na primeira safra para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo e Venâncio houve ajuste do modelo de regressão polinomial de segundo grau, apresentando pontos máximos estimados em 141,52 e 175,25 kg kg⁻¹ nas cultivares Água Morna e Venâncio, respectivamente, na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅. A cultivar BRS Gema de Ovo obteve valor máximo de -23,74 kg kg⁻¹ na dose de 214,36 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Para a cultivar Recife, os dados obtidos não se ajustaram à curva de regressão, obtendo-se EA média de 6,26 kg kg⁻¹, porém, considerando-se os resultados médios, a EA máxima para essa cultivar foi de 67,11 kg kg⁻¹ na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

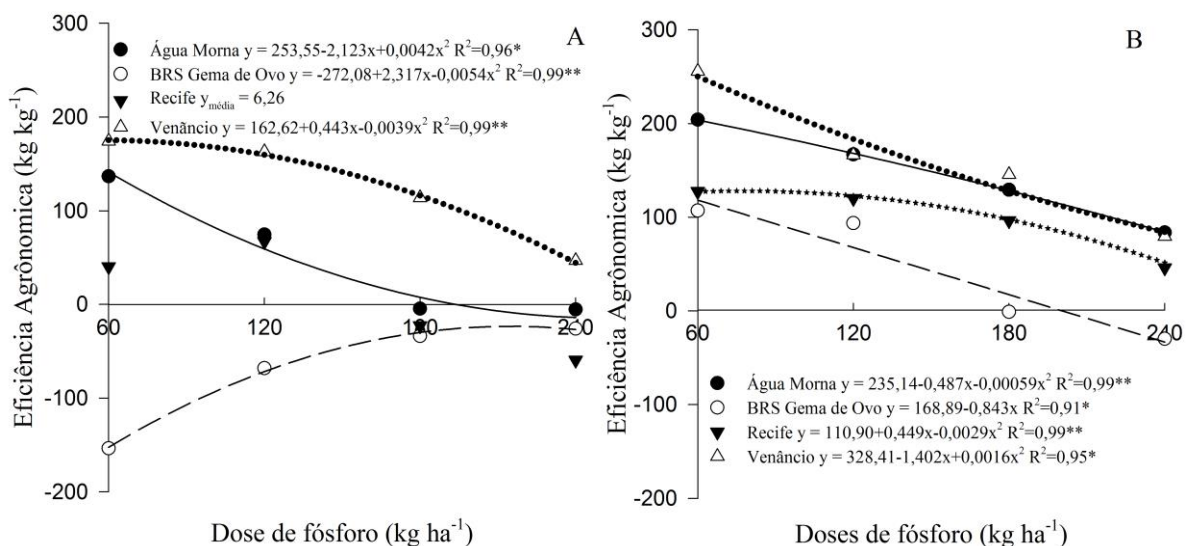


Figura 6. Eficiência agronômica de cultivares de mandioca adubadas com doses de P₂O₅ em duas safras agrícolas, 2018/19 (A) e 2019/20 (B), na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.

Na segunda safra, houve ajuste do modelo de regressão para todas as cultivares, ocorrendo resposta quadrática para as cultivares Água Morna, Recife e Venâncio e linear para

a cultivar BRS Gema de Ovo (Figura 6B), com máximos estimados para EA foram 203,77; 118,31; 127,76 e 250,10 kg kg⁻¹ nas doses de 60, 60, 75,10 e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo, Recife e Venâncio, respectivamente.

Na segunda safra, a maior dose de P₂O₅ promoveu os menores índices de EA, com maiores reduções ocorrendo para as cultivares Água Morna e Venâncio, com perdas de 84,27 e 84,09%, respectivamente, em comparação com os valores obtidos na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Figura 6B). Para a cultivar BRS Gema de Ovo, a dose de 200,3 kg ha⁻¹ de P₂O₅ proporcionou EA nula (zero), enquanto na maior dose de P₂O₅ ocorreu EA negativa (-33,43 kg kg⁻¹).

De acordo com Santos et al. (2017), os genótipos com elevado índice de resposta são interessantes, pois respondem ao aumento do P no solo quando cultivados em ambientes adequados. Para Fidelis et al. (2014), genótipos mais eficientes são recomendados para cultivos agrícolas que adotam desde o baixo até o alto nível tecnológico.

Em relação a eficiência aparente de recuperação (EAR), verifica-se que na primeira safra houve ajuste matemático aos modelos aplicados para as cultivares Água Morna, BRS Gema de Ovo e Venâncio, com máximos valores estimados em 0,48; 0,53 e 0,37 kg kg⁻¹ na dose de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente (Figura 7A). Assim, o aumento nas doses de P₂O₅ resultou em redução na EAR do nutriente. Para a cultivar Recife, os dados obtidos não se ajustaram aos modelos propostos, obtendo-se EAR média de 0,11 kg kg⁻¹ e resultado máximo na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (0,25 kg kg⁻¹).

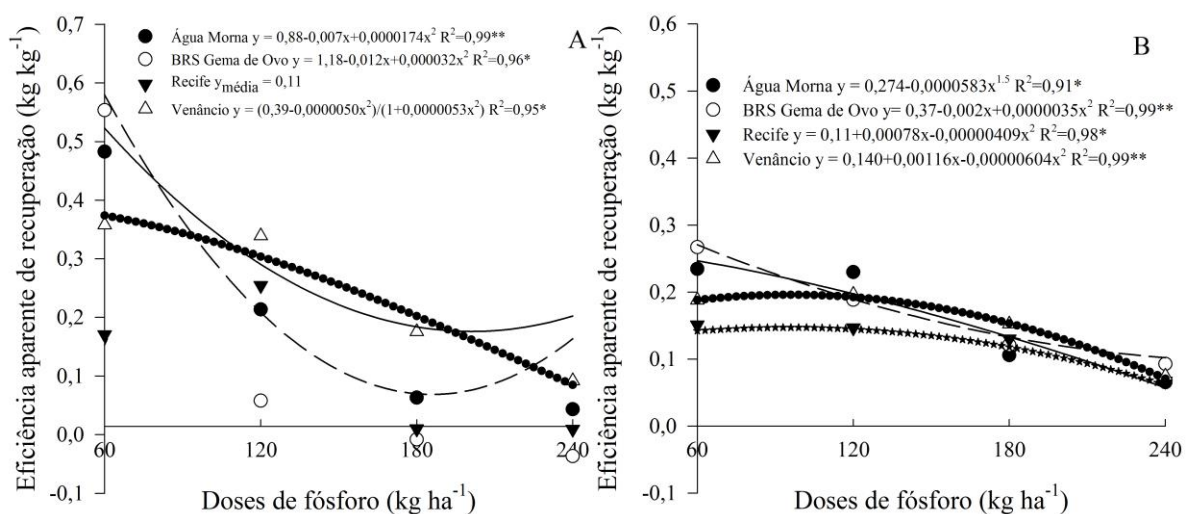


Figura 7. Eficiência aparente de recuperação de cultivares de mandioca adubadas com doses de P₂O₅ em duas safras agrícolas, 2018/19 (A) e 2019/20 (B), na cidade de Mossoró-RN, Semiárido brasileiro.

Na segunda safra, foram observadas respostas decrescentes de EAR com o aumento das doses de P_2O_5 para as cultivares Água Morna e BRS Gema de Ovo com as maiores EAR obtidas na menor dose de P_2O_5 (60 kg ha^{-1}), sendo $0,24$ e $0,26 \text{ kg kg}^{-1}$, respectivamente (Figura 7B). Para as cultivares Recife e Venâncio, a EAR aumentou até as doses de $95,28$ e $96,62 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo obtidos os valores máximos de $0,15$ e $0,20 \text{ kg kg}^{-1}$, respectivamente.

A EAR de nutrientes é a taxa de nutrientes absorvida pela planta a partir do fertilizante aplicado. Assim, doses elevadas de P_2O_5 resultaram em menores índices de EAR, indicando que, possivelmente, as menores doses de P_2O_5 aplicadas foram suficientes para atender à exigência nutricional das plantas.

5. CONCLUSÕES

O genótipo influencia o acúmulo de fósforo (P) em plantas de mandioca.

As folhas foram os órgãos com menores acúmulos de fósforo na cultura da mandioca.

As cultivares Água Morna e Recife apresentaram maiores concentrações de P nas raízes.

Para todas as cultivares, doses maiores que 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 não proporcionaram incrementos no acúmulo de P em raízes, folhas e na planta inteira.

Doses entre 60 e 180 kg ha^{-1} de P_2O_5 proporcionaram os maiores acúmulos de P na planta, nas duas safras, com variação de $2,373$ a $4,326 \text{ g planta}^{-1}$, equivalentes a $39,55$ e $72,10 \text{ kg ha}^{-1}$ de P ou $90,62$ e $165,21 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 , respectivamente.

As cultivares Venâncio e Água Morna obtiveram resultados superiores de eficiência agronômica quando adubadas com 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

A eficiência aparente de recuperação de P apresentou a seguinte ordem: BRS Gema de Ovo > Água Morna > Venâncio > Recife, com maiores índices na dose de 60 kg ha^{-1} de P_2O_5 .

REFERÊNCIAS

AFONSO, S. D. J., LEDO, C.A.S., MOREIRA, R. F. C., SILVA, S. O. V. LEAL, D. J., & CONCEIÇÃO, A. L. S. Selection of Descriptors in a Morphological Characteristics Considered In Cassava Accessions By Means Of Multivariate Techniques. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, Índia 7 (1), 13-20, 2014.

ALVARES et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 25 jul 2020.

ALVES, R. N. B.; MODESTO JÚNIOR, M. S.; FERREIRA, E. R. Doses de NPK na adubação de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) variedade Paulozinho em Mojú – Pará. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 8, p. 65-70, 2012.

ANGHINONI, I. **A method for predicting the most efficient phosphate placement for corn using a simulation model**. 1979. 170f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Agronomy Department, Purdue University, West Lafayette, 1979.

ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. (Eds.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p. 537-562.

BALIEIRO, F. C.; OLIVEIRA, I. G.; DIAS, L. E. Formação de mudas de *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis*: resposta a calagem, fósforo, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v. 25, n. 2, p. 183-191, 2001.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 414 p.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, p. 73-85, 1974.

BURGOS, Â. M.; CENÓZ, P. J. Efectos de la aplicación de fósforo y potasio en la producción y calidad de raíces de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) en un suelo arenoso y clima subtropical. **Revista Científica UDO Agrícola**, v. 12, n. 1, p. 143-151, 2012.

CARDOSO JÚNIOR, N. S.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO, F. M. Efeito do nitrogênio em características agronômicas da mandioca. **Bragantia**, v. 64, p.651-659, 2005.

CARVALHO, F. M.; VIANA, A. E. S.; MATSUMOTO, S. N.; REBOUÇAS, T. N. H.; CARDOSO, C. E. L.; GOMES, I. R. Manejo do solo em cultivo com mandioca em treze municípios da região sudeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 378-384, 2007.

CHAPIN, F. S. Adaptações e respostas fisiológicas de plantas selvagens ao estresse de nutrientes. In: GABELMAN, W. W.; LOUGHMAN, B. C. (Eds.). **Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrição**. Dordrecht: Brill Publishers, 1987. p. 15-25

CLARK, R. B. Differences in plant genotype in the absorption, translocation, accumulation and use of base mineral elements for plant growth. In: MR Saric and BC Loughman (Editors), Genetic aspects of plant nutrition. **Brill Publishers**. Haia, pp. 49-69. 1983.

COCKCROFT, L. Current and projected trends in African agriculture: implications for research strategy. In: HUGHES, J. D.A.; ADU, B.O. (Eds.) **Plant Virology in Sub-Saharan Africa**. Ibadan: IITA/Abidjan, Côte d'Ivoire: ORSTOM, 2004. p. 88-172.

COREY, R.B. Soil test procedures: correlation. In: BROWN, J.R. (Ed.) **Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation**. SSSA Spec. Pub. No 21. Madison: SSSA, 1987. p. 15-22.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 229- 235, 2009.

CRASWELL, E. T.; GODWIN, D. C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. In: TINKER, P. B.; LAUCHI, A. (Eds.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 1-55.

CUNHA, F.J.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L.I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010. **Informações agronômicas**, Piracicaba, n. 135, p. 1-7, 2011.

DONAGEMMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-Tolerant Cassava: The Role of Integrative Ecophysiology-Breeding Research in Crop Improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, n. 2., p.162-186, 2012

FAGERIA, N. K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p.

FAOSTAT. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em: 04 fev. 2021.

FAOSTAT, 2018. Food and Agriculture Organization of the United States. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acessado em: 10 de jan. 2021.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.** [online], v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FIDALSKI, J. Respostas da mandioca à adubação NPK e calagem em solos arenosos do noroeste do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1353-1359, ago. 1999.

FIDELIS, R. R.; SANTOS, M M.; SANTOS, G. R.; SILVA, R. R.; VELOSO, D. A. Classificação de populações de milho quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 19, n. 2, p. 59-64, 2014.

FUHRMANN, E., VIEIRA, E. A., GELAPE, F. F., FIALHO, J. F., & CARVALHO, L. J. C. B. Caracterização morfológica de clones elite de mandioca de mesa amarelos biofortificados. **Magistra**, 28 (3), 427-438, 2016.

FUKUDA, W. M. G.. Desenvolvimento da indústria de fécula de mandioca no Brasil tem demandado novas variedades com teores de amido mais elevados nas raízes e qualidade que agregue valores ao produto. **Revista Bahia Agrícola**, v. 7, n. 3, nov. 2006.

GERLOFF, G.C. Screening of intact plants for stress tolerance due to nutrient deficiency. In: HW Gabelman and BC Loughman (Editors), Genetic Aspects of Mineral Plant Nutrition. **Brill Publishers**. Dordrecht, pp. 55-68. 1987.

HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. Cassava: biology, production, and utilization. London: **CABI Publishing**, 2002.

HOWELER, R. H. **Mineral nutrition and fertilization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz)**. Cali, Colômbia, CIAT, 1981.

HOWELER, R. H. Cassava mineral nutrition and fertilization. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (org.). Cassava: biology, production and utilization. Wallingford: **CABI Publishing**, p. 115-147, 2002.

HOWELER, R. H. Phosphorus requirements and management of tropical root and tuber plants. In: Symposium on Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania. **International Rice Research Institute**, Manila, Philippines, March, 1989, pp. 427-444, 1990.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>>. Acesso em: 05 dez. 2020.

ITAM, K. O.; AJAH, E. A.; UDOEYOP, M. J. Comparative cost and return analysis of cassava production by adopters and non-adopters of improved cassava varieties among farmers in Ibesikpo Asutan Lga, Akwa Ibom State, Nigeria. **Global Journal of Agricultural Sciences**, v. 17, p. 33-41, 2018.

JANDEL SCIENTIFIC. **Table Curve**: curve fitting software. Corte Madera, CA: Jandel Scientific, 1991.

KOIDE, R.T. Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. **New Phytol**, 117, p. 365-386, 1991.

LIMA, A. G.; CARVALHO, L. R.; MOTA, M. C.; LIMA JÚNIOR, A. F.; MOREIRA, J. M.; SILVA, A. P.; BARBUIO, R.; ROSA, J. Q. S. Produtividade de mandioca avaliada sobre adubação fosfatada e adubação de cobertura. **PUBVET**, v. 12, n. 8, a151, p. 1-4, ago. 2018.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibrium in soils**. New York: John Wiley and Sons, 1979. 449 p.

MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B.; ROSS, W.M. Nitrogen efficiency in grain sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 2, p.577-589, 1980.

MARQUES, J. A.; PRADO, I. N.; ZEOULA, L. M.; ALCALDE, C. R.; NASCIMENTO, W. G. Avaliação da Mandioca e Seus Resíduos Industriais em Substituição ao Milho no Desempenho de Novilhas Confinadas. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 29, n. 5, p. 1528-1536, 2000.

MATTOS, P. L. P.; BEZERRA, V. S. Cultivo da Mandioca Para o Estado do Amapá. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistemas de Produção, 2. ISSN 1678-8796, 2003. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_amapa/adubacao.htm>. Acessado em: 05 de dez. 2020.

NGUYEN, H.; SCHOENAU, J. J.; NGUYEN, D.; REES, K. V.; BOEHM, M. Effects of long-term nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on cassava yield and plant nutrient composition in north Vietnam. **Journal of plant Nutrition**, v. 25, n. 3, p. 425- 442. 2002.

NOGUEIRA, M. A.; CARDOSO, E. J. B. N. Plant growth and phosphorus uptake in mycorrhizal rangpur lime seedlings under different levels of phosphorus. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.93-99, 2006.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solos e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 99 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUNES, R. S. **Eficiência de uso do fósforo em sistemas de manejo do solo e adubação fosfatada por um longo período**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

OMONDIA, J. O.; LAZAROVITCHA, N.; RACHMILEVITCHA, S.; YERMIYAHU, U. Phosphorus affects storage root yield of cassava through root numbers. **Journal Of Plant Nutrition**, v. 42, n. 17, 2070–2079, 2019.

OSUNDARE, B. Implications of N, P, K, and NPK combined on cassava (*Manihot esculenta* crantz) root yield and soil nutrient status. **International Journal of Information Research and Review**, v. 1, n. 12, p. 206-210, dez. 2014.

OTSUBO, A. A.; BITENCOURT, P. H. F.; PEZARICO, C. R. Caracterização da produção, comercialização e consumo da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) de mesa em Dourados, MS. **Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, Campo Grande, v. 6, n. 2, p. 35-47, ago. 2002.

PELLET, D.; EL-SHARKAWY, M. A. Cassava varietal response to phosphorus fertilization. II. Phosphorus uptake and use efficiency. **Field Crops Research**, v. 35, p. 13-20, 1993.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. p. 139-160.

PRADO, R. M.; VALE, D. W.; ROMUALDO, L. M. Fósforo na nutrição e produção de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 493- 498, 2005.

RÊGO, L. G. S.; MARTINS, C. M.; SILVA, E. F.; SILVA, J. J. A.; LIMA, R. N. S. Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 1036-1042, out. dez. 2016.

RODRIGUES, Z. F. G.; MARMOL, L. E. C.; MARTINEZ, J.; MONTIEL, M. M. Acumulación total y por órganos de macronutrientes en plantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cv, “Tempranita” em la altiplanicie de Maracaibo. **Revista de al Facultad de Agronomía**, Maracay, v, 26, n, 4, p. 470-480, 2009.

ROSOLEM, C.A.; WITACKER, J.P.T.; VANZOLINI, S.; RAMOS, V.J. Significance of root growth on cotton nutrition in an acidic low-P soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 212, p.185-190, 1999.

SANTOS, W. F.; SILVA, R. M.; SODRÉ, L. F.; MACIEL, L. C.; AGUIAR, R. W. S.; CANGUSSU, A. S. R.; SANTOS, M. M. Resposta e eficiência ao uso do nitrogênio em genótipos de milho tropicais. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p. 7-12, 2017.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, p. 289-302, 1981.

SIEVERDING, E.; HOWELER, R. H. Influence of species of VA mycorrhizal fungi on cassava yield response to phosphorus fertilization. **Plant and Soil**, v. 88, n. 2, p. 213–221, 1985.

SILVA, A. D. A.; GOMES, R. V. A. Macaxeira. In: CAVALCANTI, F. J. A. et al. (org.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação. 3ª ed.** Revisada. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2008. p. 164.

SILVA, A. F.; OLIVEIRA, D. S.; SANTOS, A. P. G.; SANTANA, L. M.; OLIVEIRA, A. P. D. Comportamento de variedades de mandioca submetidas a fertilização em comunidades dependentes de chuva no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 221-235, 2013.

SILVA, F. C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, H. R. F.; MELO, V. L.; PACHECO D. D.; ASSIS, Y. J. M.; SALES, H. R. Acúmulo de matéria seca e micronutrientes em mandioca consorciada com bananeira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2014.

SOUSA, D. M. G.; FIALHO, J. F.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; REIN, T. A.; VIEIRA, E. A. Calagem e adubação. In: Embrapa, 2017 (Ed.). **Cultivo da mandioca para região do cerrado**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. Planaltina: Embrapa Cerrados., 2017. p. 8-15.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G., LOBATO, E. (Eds.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.147-168.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; GOEDERT, W. J.; LOBATO, E.; NUNES, R. S. Fósforo. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**: volume 2, nutrientes. Piracicaba: INPI-Brasil, 2010. p. 67-132.

SOUSA, R. C. **Avaliação do potencial agrônômico de cultivares de mandioca oriundas do nordeste brasileiro**. Morrinhos: IF Goiano, 2017. Disponível em: <https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_9/2018-03-06-10-3247Rickson%20C%C3%A2ndido%20de%20Souza.pdf>. Acesso em: 17 maio 2021.

SOUZA, R. C. Avaliação do potencial agrônômico de cultivares de mandioca oriundas do nordeste brasileiro. Morrinhos, GO: IF Goiano, 2017.

SYERS, J. K.; JOHNSTON, A. E.; CURTIN, D. **Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use**: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, n.18. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008. 108 p.

SYSTAT SOFTWARE. SigmaPlot for Windows Version 12.0. San Jose: Systat Software Inc., 2011.

TEO, Y.H.; BEYROUTY, C.A.; NORMAN, R.J.; GBUR, E.E. Nutrition uptake relationship to root characteristics of rice. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 171, p.297-302, 1995.

UEHARA, G.; GILLMAN, G.P. **The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge**. Boulder: Westview Press, Inc., 1981. 188 p.

VILAR, C. C.; SOUZA, I. G.; VILAR, F. C. M.; MACHADO, A. T. **Fósforo no solo e eficiência de utilização pelas plantas**. *Jornal dia de campo*. Disponível em: <<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=29874&secao=Artigos%20Especiais>>. Acesso em: 18 mar. 2021.

YAMADA T.; LOPES, A. S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações agrônômicas**, Piracicaba, n 84, 1998. 8p.